

## 透過形二次電子

著者	赤城 三男
号	253
発行年	1970
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/8989">http://hdl.handle.net/10097/8989</a>

氏 名（本籍）	赤 城 三 男（福島県）
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 2 5 3 号
学位授与年月日	昭 和 4 5 年 7 月 1 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)電子工学専攻
学位論文題目	透過形二次電子

(主査)

論文審査委員	教授 吉田 重知	教授 高橋 正
	教授 柴田 幸男	助教授 池田 俊夫

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 論

最近, MgO や KCl などの多孔質層を透過形二次電子電極としてイメージインテンシファイヤーや撮像管などへ応用することが注目されている。これらの二次電子電極は放出比  $\delta$  が大きいという利点を持つ反面,  $\delta$  の不安定性や不均一性があり, このことが応用面の進歩をさまたげているように思われる。

この多孔質層の二次電子放出においては, 多孔質層表面が正に帯電することが  $\delta$  の増大に大きな寄与をしていると考えられるので, 表面電位  $V_s$  に対する  $\delta$  の依存性を知ることが本質的に重要な意味を持っている。

多孔質層の透過形二次電子放出機構を解明し, より特性の良い材料を開発するための基礎的研究

として、各種の多孔質層から放出される二次電子のエネルギー分布を交流逆電界法によって測定し、その結果から表面電位を知り、二次電子放出特性との関連を研究した。

## 第2章 真空蒸着したAl層およびKCl層の測定

多孔質層の二次電子放出研究のための基礎的資料を得ることを目的として真空蒸着層の測定を行った。KCl層の場合のエネルギー分布曲線は約1 eVの所にピークを示し、また約3.5 eVの所にKCl固有のへこみを示した。

## 第3章 多孔質層の測定(I) 過渡状態

多孔質層の二次電子放出においては、一次電子流 $I_p$ を照射すると、時間とともに多孔質層の表面電位が上昇し、 $\delta$ も増大しやがて飽和値に達するという現象(ビルドアップ現象)がある。まずこのビルドアップ現象に注目して実験を行なった。

表面が帯電したままの状態でエネルギー分布測定を行なうために、多孔質層表面とコレクタ電極の間にメッシュ電極をおいた。このメッシュ電極には $\delta$ 測定時のコレクタ電圧 $V_c$ と同じ電位を与えておく。多孔質層表面は正に帯電しているので、交流逆電界法でエネルギー分布を測定した場合には、 $V_c$ が正の所からエネルギー分布曲線が立ち上る。さらに多孔質層表面の電位の局所的ばらつき、多孔質層の内部からも二次電子が放出されることなどのために、エネルギー分布曲線はあるひろがりを示す。結局、多孔質層の場合のエネルギー分布曲線はどの電位の所からどれだけの電子が放出されたかを示す情報を与えることになる。多孔質層の内部からも二次電子が放出されることを考慮し、エネルギー分布曲線の立ち上りの点のコレクタ電位を平均的表面電位 $V_s$ とみなすことにした。

ビルドアップの各段階でエネルギー分布を測定し、その結果から $V_s$ を得ると、 $V_s$ に対する $\delta$ の依存性を知ることができる。このような方法によって測定した $\delta-V_s$ 特性を図1に示す。図からもわかる通り、一次電子電圧が一定ならば、 $V_c$ を変えても $\delta-V_s$ 特性は同じ曲線上にある。このことは、多孔質層の透過形二次電子放出における表面電位のはたす役割の重要性を示していると考えられる。

$I_p$ を照射し続けたときの、 $V_s$ の挙動は次の三つの場合にわけられる。第一の場合は、 $I_p$ 照射とともに $V_s$ は上昇しメッシュ電位 $V_m$ より低いある飽和値に達する場合である。このときは $\delta$ は1よりはるかに大きな値で平衡状態になる。この平衡状態は、 $I_p$ 照射時における多孔質層の縦方向の等価的な抵抗 $R'$ による一種の負荷抵抗と、上述した $\delta-V_s$ 特性の間の平衡として実現されると考えられる。 $R'$ は飽和表面電位と飽和放出比の値から推定することができる。多孔質KCl層の場

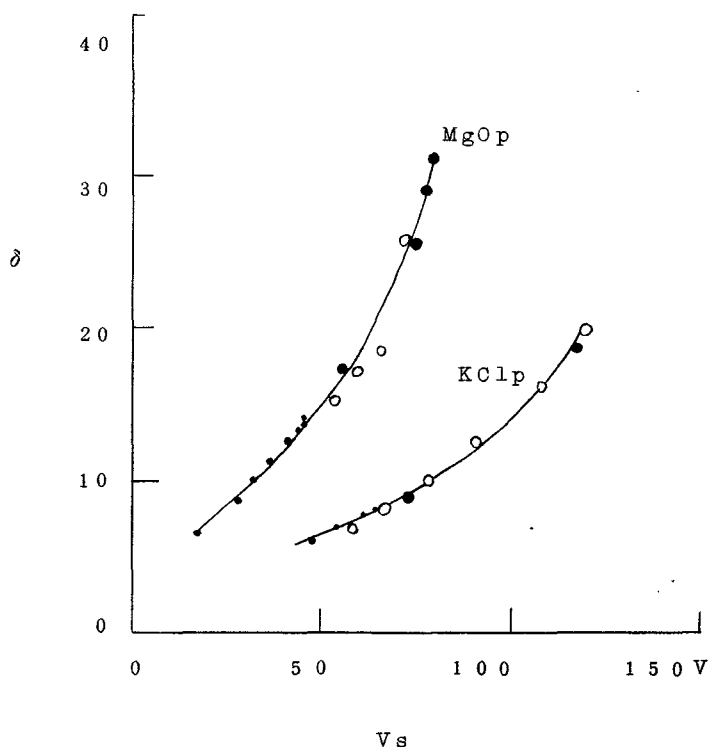


図1. 表面電位  $V_s$  に対する放出比  $\delta$  の依存性

( $\bullet$ 、 $\circ$  は異なったコレクタ電圧をあらわす。)

合を例にとれば、 $I_p = 0.5 \times 10^{-9} \text{ A}$  のとき、 $R' = 2 \times 10^{10} \Omega$  となる。また  $I_p$  を変えても  $V_s$  や  $\delta$  が変化しない範囲内では、 $R'$  は  $I_p$  に逆比例している。 $I_p$  を照射しているときには、多孔質層を構成するグレイン内にキャリアが励起され、このキャリアが電界によって移動することが上の導電機構に寄与していると思われる。この導電機構による電荷の平衡がうまくとれないときには、 $V_s$  は限りなく上昇し、ついには表面電荷の放電をおこすようになり、二次電子流は非常に不安定になる。また  $V_0$  が非常に低い場合には、 $V_0 \sim V_s$ 、 $\delta \sim 1$  で平衡状態になってしまう場合もある。後に述べた二つの場合は、実用的二次電子電極としては好ましくなく、第一の場合が実現されねばならない。

#### 第4章 多孔質層の測定 (II) 定常状態

多孔質層に Al をごく少量いれると、放出比特性が改善されることがある。そこで、多孔質 KCl 層、多孔質 MgO 層、および多孔質 KCl 層中に Al を入れた試料について定常状態の測定を行なっ

た。各種の試料の代表的な  $\delta$  の  $V_c$  依存性を図2に示す。Alをいれない多孔質KCl層および多孔質MgO層(KClp, MgOp)の場合には $\delta$ が大きくなることがあるが、そのときには上述したような表面電荷の放電による不安定性があらわれる。多孔質KCl層の途中に薄いAl層をいれた試料(KClpAl)やKClとAlをArガス雰囲気中で同時蒸着した試料([KCl-Al]p)ではこのような不安定性はあらわれない。さらに[KCl-Al]pの場合のほうが $\delta$ は大きくなる。

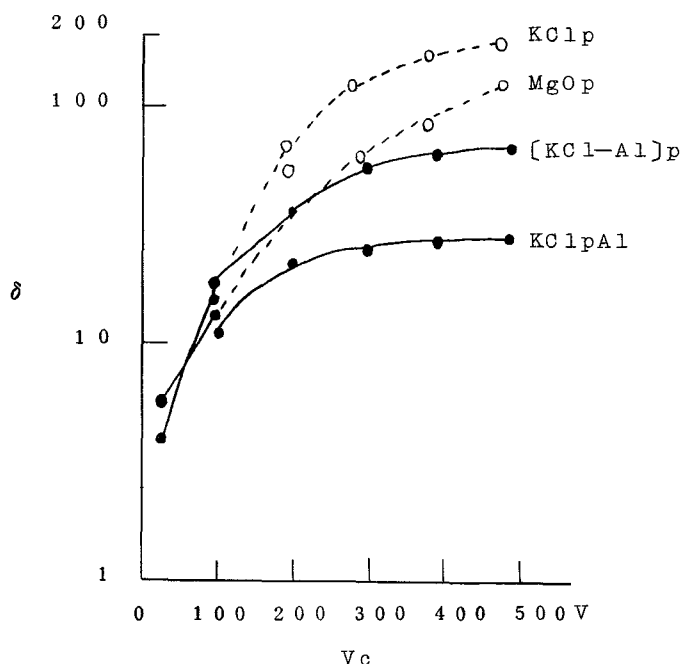


図2. 放出比 $\delta$ のコレクタ電圧依存性

(○は二次電子流が不安定性を示したことを表わす。)

放出される二次電子のエネルギーのひろがり、エネルギー分布曲線の半値幅から推定することができるが、多孔質層中にAlをいれた試料のほうが、 $\delta$ が大きくなってもこの半値幅は小さい。

多孔質層は絶縁物で構成されているので、一度表面が帯電するとIpの照射をやめても、表面電荷は長く保たれる。Ip照射をやめた後の表面電荷の放電特性を測定すると、多孔質KCl層ではAlの有無にかかわらず同じような特性が得られる。この放電特性からIpを照射していないときの多孔質層の縦方向の抵抗Rを推定することができ、多孔質KCl層の場合、 $0.9 \times 10^{16} \Omega$ となる。この値は上述のR'よりずっと大きい。多孔質層中にAlをいれた場合にも同じ程度の値になる。

以上のような測定結果から、KClとAlをArガス雰囲気中で同時蒸着した多孔質層が、二次電

子電極として最も良い特性を示すことがわかる。ここで多孔質層中にいた Al の役割を考察してみる。放電特性の測定結果から、多孔質層中の Al は、多孔質層固有の抵抗 R を低下させるほどにはなっていないことがわかる。しかし、 $\delta$  が大きくなっても安定な二次電子流が流れることから、Al は  $I_p$  照射によってグレイン内に励起されたキャリアの移動を容易にし、 $I_p$  照射時の抵抗  $R'$  を下げ、多孔質層内の電荷の平衡をとりやすくする働きをしているものと考えられる。その結果表面電位の一様性も増し、エネルギー分布の半値幅もせまくなったものと思われる。

## 第 5 章 多孔質層における二次電子放出機構

多孔質層中には無数の空隙が存在する。この空隙中を電子がグレインと衝突を繰返しながら多孔質層表面まで走行することが、多孔質層の透過形二次電子放出に対して重要な役割をはたしている。そこでこのことを考慮し、 $\delta - V_s$  特性を計算した。多孔質層に  $I_p$  を照射するとそのエネルギー損失に比例した数の電子がグレインから空隙中に放出され、この電子が空隙中を走行して多孔質層表面に達するものとする。X 点で空隙中に放出される二次電子の数を  $f_n(X, E_p)$  とする。空隙中の走行によって受ける増倍又は減衰係数を  $g(X, V_s)$  とすれば、多孔質層の厚さを  $d$  として  $\delta$  は次のようにあらわされる。

$$\delta = \int_0^d f_n(X, E_p) g(X, V_s) dX$$

一次電子のエネルギー損失の式として Constant loss の式を用い、空隙中を走行する電子に対してパイプ状電子増倍管の式を使って計算すると、一次電子の飛程が多孔質層の厚さに等しいときは次のようになる。

$$\delta = \frac{E_p}{\epsilon} \cdot \frac{G-1}{\ln G}$$

ここで  $\epsilon$  は一個の電子をグレインから空隙中に放出するために必要なエネルギー、 $E_p$  は多孔質層中で失われる一次電子エネルギー、 $G$  は長さ  $d$  のパイプ状電子増倍管の利得である。この計算結果と実験結果を比較するためには  $E_p / \epsilon$  の値を求めなければならない。 $\epsilon = 5.0 \text{ eV}$ 、 $E_p = 5 \text{ KeV}$  とすると  $E_p / \epsilon = 1000$  となる。多孔質層のグレインサイズ等から  $G$  を計算し  $(G-1) / \ln G$  を求めるとその値は  $10^{-1} \sim 10$  程度となる。

これまで多孔質層の透過形二次電子放出機構に関する考え方には大別すると二つのものがあった。第一のものは Goetze ら<sup>1)</sup> によるもので、空隙中に放出される二次電子の脱出確率の増加だけを考えるものである。しかし脱出確率の増加からのみ数十という  $\delta$  の値を説明しようとすれば、放出される二次電子のエネルギー分布は測定されたものよりはもっとひろがるはずである。一方

Yasnopol'skiy<sup>2)</sup>のように多孔質層内での増倍を考えるとすれば、 $\delta$ は $E_p/\epsilon$ の値よりも大きくなるはずであるが、ここで測定された $\delta$ の値は必ずしもそれほど大きくはならない。それに対して上に述べた考え方は、数十という $\delta$ の値とエネルギー分布の測定結果を矛盾なく説明できる。

## 第6章 結 論

第5章まで述べた実験結果、放出機構に関して全体的結論を述べた。

## 文 献

- 1) G.W.Goetze, A.H.Boerio and M.Green: J. appl. Phys. 35 (1964) 482.
- 2) N.L.Yasnopol'skiy and V.S.Malysheva: Radio Engng. Electronic Phys. 7 (1962) 1543.

## 審 査 結 果 の 要 旨

最近、KClやMgOなどの多孔質層を用いた透過形二次電子電極が開発され、撮像管やイメージ・インテンシファイヤなどへの応用が注目されている。この種の電極は二次電子放出比の不安定性や不均一性などのため、十分実用に耐えうるものが得られていない。本研究は、上に述べた欠点を改善して、元来この種の電極が示す特徴を生かすことを目的とし、かなり基礎的な研究を広い範囲にわたって行なったものであり、全文6章よりなっている。

第1章は諸論で、透過形二次電子研究の現状と本研究の目的を述べている。

第2章では、放出二次電子のエネルギー分布の測定法としての交流逆電界法について検討し、この方法を用いて多孔質二次電子電極の構成要素であるAl, KClおよびMgOの二次電子放出比ならびにエネルギー分布を測定した結果について述べている。

第3章では、多孔質二次電子電極に特有な、一次電子の照射とともに、表面が高い電位になってゆく現象に着目して、その過渡状態での特性の測定結果について述べている。放出二次電子のエネルギー分布曲線の測定から、表面電位が決定でき、これと放出比との関係を求め得たことは、放出機構の解明に重要な資料を提供したもので、注目すべき成果の一つである。なお安定な表面電位を保持するための条件についても考察を行なっている。

第4章では、前章の過渡状態の後に続く、定常状態に着目して行なった実験結果について述べている。用いた試料は、多孔質KCl層、多孔質MgO層以外に、二次電子流の安定化対策としてこれら多孔質の中間に薄いAl層を入れたもの、さらにKClとAlをArガス中で同時蒸着させたものの4種類である。これらの試料について、エネルギー分布、放出比特性あるいは一次電子照射を止めたあとの表面電位の減衰などについて、詳細な実験を行なっている。その結果KClとAlをArガス中で同時蒸着させる方法が、放出比の増大と特性の安定化の改善に寄与することを見出した。これは興味ある結果である。

第5章では、前章までに得られた実験結果を基にして、多孔質層における二次電子放出比と表面電位の関係を示す理論式の導出について述べている。この理論式と実験結果との比較から、多孔質層内での二次電子の挙動に関する情報を得たことは一つの知見である。

第6章は、結論である。

以上、本研究は、多孔質の透過形二次電子電極の放出機構を解明するために必要な基本的性質を、かなり広範囲にわたって測定し、その結果を基にして特性のすぐれた電極の作成方法を提案したもので、電子材料工学に新しい知見を加えたものといえる。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。